

Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung
basierendem Mikroskop

Die vorliegende Erfindung betrifft ein reflektives Abbildungssystem für ein
5 Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objektebene,
wobei das Objekt mit Strahlen einer Wellenlänge $< 100 \text{ nm}$, insbesondere $< 30 \text{ nm}$
beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert abgebildet wird.

Die mikroskopische Untersuchung von Objekten mit Röntgenstrahlung wird vor
10 allem in der Halbleiterindustrie immer wichtiger. Kleinere Strukturgrößen
fordern konsequenterweise immer höhere Auflösungen, welche nur durch eine
Verkürzung der Untersuchungswellenlänge erreicht werden kann. Besonders
wichtig ist dies bei der mikroskopischen Inspektion von Masken für den
Lithographieprozess. Dabei stellt die Lithographie mit extrem ultravioletter
15 (EUV) Strahlung die aussichtsreichste Lösung für die Chipfertigung in den
nächsten Jahren dar.

Nach dem Stand der Technik sind zahlreiche verschieden technische Lösungen
zu Röntgenmikroskopen bekannt.

20 Die Anmeldungen US 5,222,113; US 5,311,565; US 5,177,774 und
EP 0 459 833 zeigen Röntgenstrahlmikroskope, bei denen in der
Projektionsoptik Zonenplatten für die Abbildung vorgesehen sind. Bei diesen
Fresnelschen Zonenplatten handelt es sich um ein wellenoptisch abbildendes
25 Element, bei dem das Licht an einem System aus konzentrisch angeordneten
Kreisringen gebeugt wird. Der Nachteil der Verwendung von Fresnelschen
Zonenplatten in den abbildenden Systemen mit mehreren optischen Elementen
im Bereich der Röntgenstrahlung ist darin zu sehen, dass Fresnelsche
Zonenplatten transmittive Bauteile sind, die aufgrund der schlechten
30 Transmission im Röntgenbereich zu großen Lichtverlusten führen.

Die US-Patente US 5,144,497, US 5,291,339 und US 5,131,023 betreffen

Röntgenstrahlmikroskope bei denen Schwarzschild-Systeme als abbildende Systeme verwendet werden. Bei diesen Röntgenstrahlmikroskopen sind die Strahlengänge am zu untersuchenden Objekt telezentrisch ausgelegt, was eine Abbildung von Objekten in Reflexion erschwert.

5

Ein weiterer Nachteil derartiger Systeme für einen Einsatz zur Untersuchung von Objekten, insbesondere solchen, die im Bereich der Röntgenlithographie Verwendungen finden, ist deren große Baulänge zur Erzielung eines ausreichenden Abbildungsmaßstabes. Dies erschwert die Verwendung
10 beispielsweise in Inspektionssystemen zur Untersuchung von Masken in EUV-Projektionsbelichtungsanlagen.

Aus US 6469827 und US 5022064 sind die Verwendung von diffraktiven Elementen zur spektralen Selektierung durch Beugung von Röntgenstrahlung
15 bekannt. In beiden Schriften werden diese Elemente aber nur zur spektralen Aufspaltung und Selektierung von Röntgenstrahlung und nicht zur Korrektur oder Verbesserung von Abbildungseigenschaften verwendet. Auch dieses System ist am Objekt telezentrisch ausgelegt, was eine Abbildung von Objekten in Reflexion erschwert.

20

Die Verwendung eines diffraktiven optischen Element mit brechungsverstärkender und achromatisierender Wirkung für ein Objektiv, insbesondere ein Mikroskopobjektiv wird in der DE-OS 101 30 212 beschrieben. Ein derartiges Objektiv ist aber für die EUV-Strahlung aufgrund
25 der transmittiven optischen Elemente nicht einsetzbar. Da die EUV-Strahlung im Gegensatz zur UV-Strahlung in nahezu allen Materialien sehr stark absorbiert wird, ist die Verwendung von auf Transmission beruhenden optischen Bauelementen nicht möglich.

30 Ein reflektives Röntgenstrahlmikroskop zur Untersuchung eines Objektes für die Mikrolithographie in einer Objektebene mit Strahlung einer Wellenlänge $< 100 \text{ nm}$, insbesondere $< 30 \text{ nm}$, ist aus der JP 2001116900 bekannt. Das in

dieser Anmeldung offenbarte Röntgenstrahlmikroskop ist ein Schwarzschild-System mit einem konkaven ersten Spiegel und einem konvexen zweiten Spiegel. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Systemen ist der Strahlengang zur Untersuchung des Objektes am Objekt nicht telezentrisch, so
5 dass eine Untersuchung in Reflexion, beispielsweise von EUV-Reflexionsmasken, ermöglicht wird. Nachteilig an diesem System ist die sehr große Baulänge um große Abbildungsmaßstäbe zu erzielen.

Eine weitere Röntgenmikroskopische Anordnung ist beispielsweise in den
10 Anmeldungen DE 102 20 815 und DE 102 20 816 beschrieben. Darin ist die Abbildungsoptik als rein reflektives System ausgelegt und hinsichtlich geringer Baulänge bei hohen Vergrößerungen optimiert. Dies wird u. a. durch die Verwendung stark asphärischer Spiegel erreicht. Nachteilig bei diesen Anordnungen ist, dass die Fertigungstoleranzen für die asphärischen Spiegel
15 zum Erreichen einer hohen Bildgüte extrem anspruchsvoll sind und daher hohe Anforderungen an die Fertigungstechnologie und Messtechnik zu stellen sind.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Abbildungssystem für ein Röntgenmikroskop zu entwickeln, welches die im Stand der Technik
20 bekannten Nachteile vermeidet. Weiterhin soll dabei eine hohe Abbildungsgüte bei einem vertretbaren Fertigungsaufwand erreicht werden.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind
25 Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Das vorgeschlagene Abbildungssystem beinhaltet alle zu einer abbildenden Optik gehörenden optischen Elemente und erzeugt durch die extrem ultraviolette (EUV) Strahlung ein entsprechendes Zwischenbild. Diese kann
30 durch weitere Abbildungssysteme weiter verarbeitet, d. h. weiter vergrößert werden.

Durch Nutzung einer EUV-Strahlung von 13,5 nm ist das erfindungsgemäße Abbildungssystem beispielsweise in der Photolithographie einsetzbar.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels
5 beschrieben. Dazu zeigen

Figur 1: Strahlenverlauf im ersten Subsystem des Mikroskops,

Figur 2: einen vergrößerten Ausschnitt des Strahlenverlaufes im ersten
10 Subsystem des Mikroskops und

Figur 3: eine schematische Gesamtansicht eines Inspektionssystems für
Lithographiemasken, basierend auf EUV-Strahlung.

15 Bei dem erfindungsgemäßen Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop mit Wellenlängen im Bereich kleiner 100nm, mit einer Vergrößerung von 0,1 - 100x und einer Baulänge kleiner 5m weist mindestens eines der im Strahlengang vorhandenen abbildenden optischen Elemente **2** und **3** eine diffraktiv-reflektive Struktur auf. Die diffraktiv-
20 reflektive Struktur ist dabei auf einer sphärischen oder einer planen Grundfläche eines oder beider abbildenden optischen Elemente **2** und **3** aufgebracht. Als sphärische Grundfläche sind konkave oder konvexe Krümmungen möglich.

25 Die diffraktiv-reflektiven Strukturen weisen eine nicht rotationssymmetrische, asymmetrische Form auf. Im speziellen Fall sind die Strukturen in der Meridionalebene (entspricht der Zeichnungsebene) asymmetrisch, senkrecht dazu sind sie symmetrisch. Die diffraktiv-reflektiven Strukturen lassen sich beispielsweise durch folgendes Polynom der Phasenverteilung φ beschreiben:

30

$$\varphi(x, y) = \sum a_i x^m y^n$$

mit x, y Koordinaten
 a_i Koeffizienten
 i Summationsindex
 m, n ganze Zahlen.

5

Um eine Gesamtvergrößerung von 5 - 1000x realisieren zu können wird dem ersten Abbildungssystem ein weiteres Abbildungssystem nachgeordnet. Das zweite Abbildungssystem kann dabei auf einer Röntgenabbildung, einer elektro-optischen Abbildung oder einer Abbildung, die eine Strahlung oberhalb 10 200nm verwendet, basieren. Im einfachsten Fall kann das zweite Abbildungssystem auch ein weiteres abbildendes optisches Element mit einer sphärisch konvexen Grundfläche ohne eine diffraktiv wirkende Struktur sein.

15 Das erfindungsgemäße Abbildungssystem ist vorzugsweise für Wellenlängen im Bereich kleiner 30nm, bei einer Vergrößerung von 5 - 1000x und einer Baulänge kleiner 3m vorgesehen.

In einer weiteren Ausgestaltung weist das Abbildungssystem zwei abbildende 20 optische Elemente **2** und **3** mit jeweils einer diffraktiv-reflektiven Struktur auf, wobei das erste abbildende optische Element **2** über eine konkave Grundfläche und das zweite abbildende optische Element **3** über eine konvexe Grundfläche für die jeweilige diffraktiv-reflektive Struktur verfügen. Die abbildenden optischen Elemente **2** und **3** sind so angeordnet, dass sich die optischen 25 Wege einmal kreuzen. Außerdem ist die optische Achse des Abbildungssystems dabei zur Objektnormalen geneigt.

Die abbildenden optischen Elemente **2** und **3** können aber auch so angeordnet sein, dass sich die optischen Wege nicht kreuzen.

30

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung kann das erfindungsgemäße Abbildungssystem als Basis für ein Inspektionssystem für Lithographiemasken verwendet werden. Für Anwendungen in der Lithographie konzentrieren sich die Arbeiten auf Wellenlängen um 13,5nm, da sich nur hier effiziente Optiken
5 für die erforderlichen Belichtungssysteme herstellen lassen.

Das erste abbildende optische Element **2** mit sphärisch konkaver Grundfläche verfügt dabei beispielsweise über eine diffraktiv-reflektiv wirkende Struktur mit ca. 240 Linien/mm und das zweite abbildende optische Element **3** mit sphärisch
10 konvexer Grundfläche über eine diffraktiv-reflektiv wirkende Struktur mit ca. 660 Linien/mm. Die abbildenden optischen Elemente **2** und **3** sind dabei so angeordnet, dass sich die optischen Wege einmal kreuzen.

In **Figur 1** und **Figur 2** (vergrößerter Ausschnitt) sind die entsprechenden
15 Strahlenverläufe im Abbildungssystem, ausgehend vom zu untersuchenden Objekt **1**, über die abbildenden optischen Elemente **2** und **3**, bis hin zum erzeugten Zwischenbild **4** dargestellt. Der dargestellte Strahlenverlauf betrifft ein Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop bzw. einem entsprechenden Inspektionssystem für
20 Lithographiemasken.

Figur 4 zeigt die schematische Gesamtansicht eines Inspektionssystems für Lithographiemasken, basierend auf EUV-Strahlung.

25 Die EUV-Strahlung wird im Gegensatz zur UV-Strahlung in nahezu allen Materialien sehr stark absorbiert. Da die Absorptionslänge in Luft bei Normaldruck weit unter 1mm liegt, kann sich die EUV-Strahlung nur im Vakuum über die für die EUV-Lithografie notwendigen Entfernungen nahezu verlustfrei ausbreiten.

30

Ausgehend von der Strahlungsquelle **5** wird die EUV-Strahlung von der Beleuchtungsoptik **6** auf das Objekt **1** fokussiert. Die vom Objekt **1** reflektierte

EUV-Strahlung wird von der Abbildungsoptik 7 als Zwischenbild 4 auf eine Wandlerschicht fokussiert. Das erfindungsgemäße Teilsystem ausgehend von der Objektebene 1 bis zum Zwischenbild 4, auf der Wandlerschicht wird auch als erstes Subsystem bezeichnet und basiert vollständig auf der EUV-Strahlung.

Das so erzeugte Zwischenbild 4 kann beispielsweise von einem zweiten Subsystem weiter vergrößert werden. Das zweite Subsystem kann hierbei sowohl auf der EUV-Strahlung als auch einer anderen Wellenlänge basieren.

Von der Wandlerschicht (Zwischenbild 4) wird die EUV-Strahlung beispielsweise in VIS-Strahlung umgewandelt. Diese VIS-Strahlung wird von einer als zweites Subsystem eingesetzten weiteren Abbildungsoptik 8, welche gleichzeitig als Fenster der Vakuumkammer 10 ausgebildet ist, auf einen Kamerachip 9 abgebildet. Der Kamerachip 9 dient der Kontrolle der Bestrahlung.

Mit der erfindungsgemäßen Anordnung wird ein Abbildungssystem zur Verfügung gestellt, welches die im Stand der Technik bekannten Nachteile vermeidet und eine hohe Abbildungsgüte gewährleistet. Der Fertigungsaufwand bleibt durch die ausschließliche Verwendung sphärischer Spiegel vertretbar.

Die mikroskopische Untersuchung von Objekten mit Röntgenstrahlung, insbesondere mit extrem ultravioletter (EUV) Strahlung wird vor allem in Halbleiterindustrie immer wichtiger. Kleiner Strukturgrößen fordern konsequenterweise immer höhere Auflösungen, welche nur durch eine Verkürzung der Untersuchungswellenlänge erreicht werden kann. Besonders wichtig ist dies bei der mikroskopischen Inspektion von Masken für den Lithographieprozess.

Besonders wichtig wird die Röntgenmikroskopie bei Verfahren, wie beispielsweise dem sogenannten AIMS (Aerial Imaging Measurement). Bei

- dem AIMS Verfahren wird der Lithographiestepper durch eine preisgünstigere und einfachere mikroskopische Anordnung simuliert. Wichtig dabei ist, dass die Abbildung mit der gleichen Wellenlänge von z. B. 13,5nm, den gleichen Beleuchtungsbedingungen und der gleichen Bildgüte wie bei einem EUV-Stepper erzeugt wird. Im Gegensatz zum Stepper ist aber das Bildfeld mit ca. 10µm statt mehrere mm wesentlich kleiner. Ein weiterer Unterschied ist, dass die Maske typischerweise 10 - 1000fach vergrößert auf eine Kamera abgebildet werden.